УДК 553.98

ПРИМЕНЕНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ФОСФАТНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Г.Ю. Боярко

Томский политехнический университет
E-mail: BGJ@mail.tomsknet.ru

При поисках и разведке фосфатных руд Южной Якутии использовались гамма-спектрометрическая съемка тория, фторометрическая нейтронно-активационная съемка и рентгенорадиометрический анализ на церий. Для массовых поисков апатитовых руд наиболее эффективной была признана аэрогаммаспектрометрическая съемка, а при наземных детальных поисках – рентгенорадиометрический анализ литогеохимических проб на церий. Для целей управления качеством отработки фосфатных месторождений Южной Якутии рекомендуется использовать нейтронно-активационные методы определения концентрации фосфатов по фтору.

Ядерно-физические методы анализа (ЯФМА) минерального вещества обладают рядом привлекательных достоинств по сравнению с традиционными химическими методами. В первую очередь – это отсутствие стадии физико-химической подготовки материала проб, что резко сокращает время самого анализа и удельные затраты на его производство. Принцип неразрушаемости материала в процессе ЯФМА способствует повышению воспроизводимости аналитических данных, а также возможности использования исследованного минерального сырья в других технологических операциях (специальные исследования, обогащение руд и передел концентрата на товарные продукты).

Открытие в 80-х годах XX века Селигдарского месторождения апатита и Южно-Якутской фосфатоносной провинции в условиях интенсификации геологоразведочных работ способствовало внедрению ЯФМА в процессах поисков и разведки фосфатных месторождений.

Непосредственно на первой стадии поисков фосфатных месторождений сложился устойчивый набор геохимических признаков объектов селигдарского типа с применением ЯФМА [1–3]. Собственно, содержание фосфорного ангидрита типовыми ядерно-физическими методами определить весьма затруднительно, но по элементам – спутникам фосфора возможно применение ЯФМА на базе имеющегося отечественного оборудования. Основные товарные минералы фосфатных руд – апатит и франколит – содержат инструментально фиксируемые концентрации **фтора, церия** и **тория**.

Концентрации **тория** легко фиксируются гамма-спектрометрическим способом. Концентрации ThO_2 в апатите селигдарского типа составляют 0,02...0,07 %, но при замещении апатита франколитом происходит вынос тория вплоть до полного очищения фосфатной матрицы. Кроме того, во вмещающих породах отмечается самостоятельная ториевая минерализация в виде монацита и торианита, которые образуют аномалии, не связанные с фосфатами. Тем не менее, ввиду дешевизны аэрогаммаспектрометрического метода поисков и отсутствия ошибки второго рода (пропуска месторождений) поисковой признак фосфатного оруденения по наличию ториевых аномалий не был исключен из используемого поискового комплекса. В частности, Бирикээнское месторождение фосфатов было обнаружено при заверке именно аэрогаммаспектрометрической ториевой аномалии [4].

Редкие земли (Ce, La, Y, Yb) в селигдарских апатитах изоморфно замещают кальций примерно в одной пропорции 1/45. Однако кроме изоморфных замещений лантноиды находятся и в микровростках монацита в кристаллах апатита, в результате чего коэффициент корреляции содержаний $TR\text{-}P_2O_5$ снижается. Из редкоземельных элементов ядерно-физическим (рентгенорадиометрическим) методом с высокой точностью можно определять концентрации церия [1, 2]. Концентрации CeO_2 в апатитах селигдарского типа составляют 0,4...0,6 %. При замещении апатита франколитом как и в случае тория, происходит самоочистка новообразованного фосфата от редких земель (до 0,01 % CeO_2). Редкие земли также концентрируются в других минералах (ортите и монаците), но в отличие от тория, аномалии церия нефосфатной природы довольно редки. Рентгенорадиометрическая цериевая съемка оказалась весьма эффективной и оперативной при наземных поисках фосфатных руд для целей геометризации выходов фосфатоносных тел на дневную поверхность. В частности, по геометрии аномалий церия были оконтурены новые фосфатные месторождения Муосталлах [3] и Левый Бурный [5].

Концентрация **фтора** легко определяется нейтронно-активационным методом [4]. Фтор входит в кристаллическую решетку апатита и франколита, но может изоморфно замещаться хлором и гидроксильной группой. Концентрация фтора в апатитах селигдарского типа составляет 2,7...3,5 %, во франколите – 3,04...3,37 %. В процессе переотложения фосфатов концентрации фтора практически не меняется. Тем не менее, ввиду наличия других фторсодержащих минералов (флогопита, флюорита) поисковая эффективность фторометрической нейтронно-активационной съемки оказалась неэффективной [1]. Многочисленные ложные ано-

малии фтора, не обусловленные его высоким содержанием, фиксировались над полями приразломных слюдитов, проявлениями и месторождениями флогопита и плавикового шпата. Кроме того, на решение об отказе в применении нейтронной фторометрии в поисковом комплексе повлиял фактор повышенной опасности эксплуатации в полевых условиях полоний-бериллиевых источников нейтронов.

Таким образом, на стадии общих поисков наиболее эффективными методами выявления потенциально фосфатоносных объектов является аэрогамма-спектрометрическая съемка тория, а при детальных наземных поисках с целью выконтуривания рудных тел – рентгенорадиометрический анализ на церий литогеохимических проб.

На стадии разведки Селигдарского месторождения была поставлена задача возможностей управления качеством горнорудного сырья с применением ядерно-физических способов оперативного определения концентрации апатита. Такой же комплекс исследований был проведен и на Бирикээнском месторождении фосфатов.

По результатам гамма-спектрометрического и нейтронно-активационного каротажа скважин с сопряженным рентгенорадиометрическим опробованием керна на церий и разрушаемым керновым опробованием на P_2O_5 были построены зависимости концентраций F, CeO_2 и ThO_2 от содержания фосфорного ангидрита для Селигдарского месторождения апатита (рис. 1) и Бирикээнского месторождения фосфатов (рис. 2).

На **Селигдарском месторождении апатита**, как видно из графиков распределения, для всех анализируемых компонентов устанавливается отчетливая зависимость от концентрации фосфора.

Для фтора она практически линейна, причем наблюдается два тренда, свидетельствующих о наличии двух генераций апатита с различной концентрацией гидроксил-компонента.

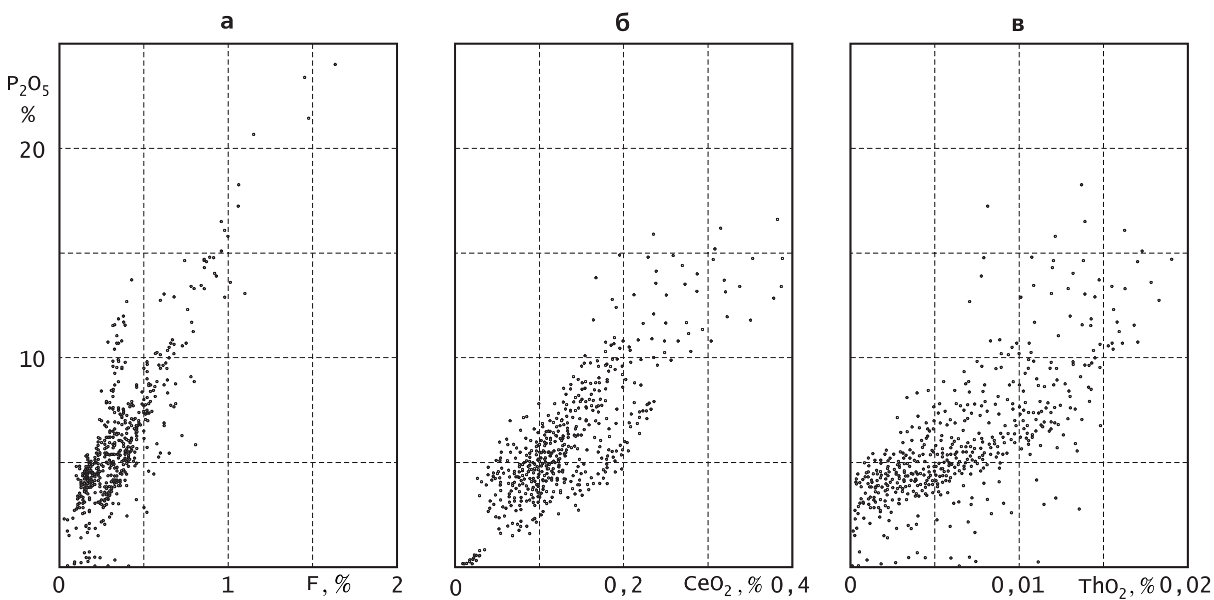


Рис. 1. *Зависимости концентрации фтора (а), церия (б) и тория (в) от содержания фосфорного ангидрита для руд Селигдарского месторождения апатита*

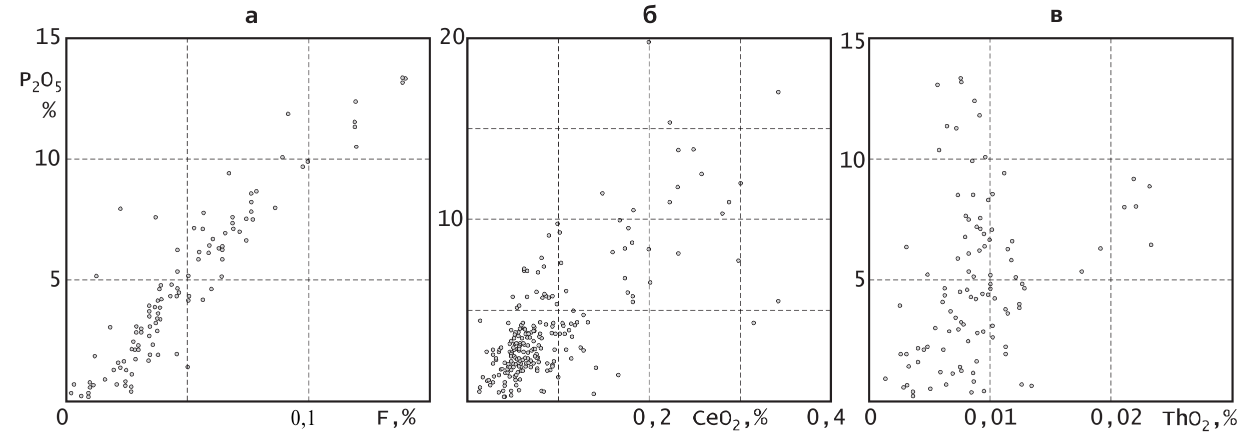


Рис. 2. *Зависимости концентрации фтора (а), церия (б) и тория (в) от содержания фосфорного ангидрита для руд Бирикээнского месторождения фосфатов*

Для церия наблюдается увеличение дисперсии распределения в области свыше 10 % P_2O_5. Природа этого явления кроется в нахождении большей части редких земель в виде микровростков монацита в зернах апатита. При низких содержаниях апатита (концентратора монацита) зависимость TR–P_2O_5 отчетлива и однозначна, а в области высоких концентраций фосфорного ангидрита проявляется неравномерность распределения самого монацита в массе зерен апатита.

Для тория высокая дисперсия концентраций наблюдается как и в области высоких содержаний P_2O_5 (та же приуроченность к микровросткам монацита), так и в области низких значений фосфорного ангидрита. Последнее свидетельствует о наличии в апатитовых рудах примеси ториевых минералов (торианита и др.) имеющих собственные особенности распределения, не связанные с фосфатами.

На **Бирикээнском месторождении фосфатов**, ввиду наличия двух форм фосфатов (апатита и франколита), линейная зависимость с P_2O_5 установлена только для фтора. Для церия наблюдается значительное увеличение дисперсии концентраций при содержании P_2O_5 свыше 5 %, а для тория – вообще полное отсутствие зависимости его концентрации от содержаний фосфорного ангидрита.

Таким образом, для целей оперативного управления качеством горной массы на фосфатных месторождениях Южной Якутии единственно возможным способом быстрого определения концентрации фосфорного ангидрита по элементам-спутникам является нейтронно-активационные методы определения фтора. Ошибка определения фосфорного ангидрита по фтору составляет 10...15 отн. % в интервале 0...3 % P_2O_5, 7...9 отн. % в интервале 3...10 % P_2O_5 и 5...6 отн. % – в интервале свыше 10 % P_2O_5. Определение концентрации фосфорного ангидрита по фтору возможно путем нейтронно-активационного каротажа скважин [6], нейтронно-активационного опробования навала руды самосвалов и на транспортерной ленте [7]. На основе полученных при этом данных возможны традиционный способ управления геометрии селективной выемки фосфатных руд и пустых пород, а также новой технологии селективной сепарации предварительного обогащения руд, успешно разрабатываемого ООО "РАДОС" (г. Красноярск) [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егин В.И., Боярко Г.Ю., Леонов А.О., Белоусов В.М. Геохимические методы поисков и прогнозирование апатитовых месторождений в областях докембрийской консолидации // Геохимические методы поисков в областях докембрийской консолидации. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 16–21.
2. Лупарев А.В., Пестерев С.Н., Боярко Г.Ю., Томский И.В. Рентгено-радиометрический анализ при геохимических исследованиях районов Южной Якутии // Геохимия в локальном металлогеническом анализе: Тезисы докладов Всес. симп. – Т. 3. – Новосибирск: ИГиГ, 1986. – С. 14–16.
3. Боярко Г.Ю., Сучков В.Н. Эффективность цериевой съемки при локальном поиске апатитовых руд // Геохимические критерии прогнозной оценки оруденения. – Новосибирск: Наука, 1990. – С. 183–188.
4. Боярко Г.Ю. Коры выветривания Бирикээнской группы фосфатных месторождений (Южная Якутия) // Важнейшие промышленные типы россыпей и месторождений кор выветривания, технология оценки и освоения: Тезисы докл. XI Междунар. совещ. по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. – М.: ИГЕМ, 1997. – С. 48.
5. Боярко Г.Ю. Геохимические поиски фосфатоносных кор выветривания бирикээнского типа (Южная Якутия) // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири. – Томск: ТПУ, 2003. – С. 139–141.
6. Камышев Б.С. Ядерно-геофизические методы при поисках, разведке и разработке фторсодержащего сырья. – М.: Недра, 1985. – 192 с.
7. Колесов Б.М., Крекнин Ю.С., Ганичев Г.И. К теории нейтронного гамма-каротажа фтора // Методы рудной геофизики. – Л.: Недра, 1972. – С.142–153.
8. ООО "РАДОС" // Цветные металлы. – 1998. – № 1. – Цветная вкладка.